

# 烷基硫酸盐捕收剂对菱镁矿和白云石的浮选性能研究

陈英铭<sup>1,2</sup>, 马鹏举<sup>1,2</sup>, 柴文翠<sup>1,2</sup>, 马伟鸣<sup>1,3</sup>

1. 郑州大学 关键金属河南实验室, 河南 郑州 450001;
2. 郑州大学 材料科学与工程学院, 河南 郑州 450001;
3. 郑州大学 化工学院, 河南 郑州 450001

中图分类号: TD923<sup>7</sup>.13 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2023)02-0053-07  
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2023.02.008

**摘要** 白云石是低品质菱镁矿中主要的含钙杂质,但是白云石与菱镁矿的晶体结构相似、组成相近,导致钙镁矿物浮选分离困难。开发新型高效脱钙捕收剂是提高白云石与菱镁矿分离效率的主要手段。基于此,探索性地将十二烷基硫酸钠(SDS)作为白云石的捕收剂进行钙镁分离,考察了矿浆 pH 值、SDS 浓度以及可溶性离子  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{Fe}^{3+}$  对菱镁矿与白云石浮选性能的影响,结果表明:在 SDS 浓度为  $20 \times 10^{-5}$  mol/L、矿浆 pH 值为 10 时,白云石与菱镁矿有较好的浮选分离效果。 $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  对菱镁矿与白云石均有抑制作用,对两种矿的浮选性差异影响较小。 $\text{Fe}^{3+}$  对白云石的抑制作用较小,对菱镁矿的抑制作用较大,有利于两种矿的浮选分离。FTIR 与 Zeta 电位结果表明,SDS 在白云石表面的吸附量远远大于在菱镁矿表面的吸附量,且  $\text{Fe}^{3+}$  可以促进 SDS 在白云石表面的吸附,抑制 SDS 在菱镁矿表面的吸附,从而增大白云石与菱镁矿间的可浮性差异。

**关键词** 十二烷基硫酸钠;菱镁矿;白云石;金属离子;抑制作用

## 引言

中国是世界上菱镁矿资源最为丰富的国家之一,现已探明我国储量约有 36 亿 t,约占全球储量的 29%,居世界首位<sup>[1]</sup>。菱镁矿是中国的优势矿种之一,具有资源丰富、分布较为集中、成矿类型较单一、品质优良等特点<sup>[1-3]</sup>。菱镁矿主要用于提炼金属镁和生产耐火材料<sup>[4]</sup>。随着菱镁矿资源的不断开发,高品质的菱镁矿资源濒临枯竭,低品质菱镁矿的开发势在必行<sup>[5]</sup>。低品质菱镁矿中含有硅、钙等杂质,含钙杂质主要是白云石,含硅杂质主要是石英<sup>[6-7]</sup>。目前常用的浮选脱硅除钙工艺为采用胺类捕收剂进行反浮选脱硅,然后采用脂肪酸类捕收剂正浮选除钙<sup>[8-14]</sup>。由于菱镁矿与白云石晶体结构相似、性质相近,使得菱镁矿与白云石的分离仍是菱镁矿浮选除杂过程面临的难题<sup>[15-17]</sup>。

由于菱镁矿和白云石同属于碳酸盐矿物,在矿浆体系中难免会溶出  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等杂质,这些离子不仅会与捕收剂作用增加捕收剂用量,而且会吸附在矿物表面改变矿物的表面性质,从而影响菱镁矿、白云石等矿物的浮选性能<sup>[18-19]</sup>。但是在不同的捕收剂体系下,金

属离子对碳酸盐矿物既可能起到抑制作用,也有可能起到活化作用<sup>[18,20-22]</sup>。刘文刚等<sup>[18]</sup>通过研究在十二胺体系下金属离子对菱镁矿与白云石的浮选行为,发现  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  对菱镁矿与白云石的浮选均有抑制作用,而  $\text{Fe}^{3+}$  能够活化白云石使之上浮。张孟等人<sup>[23]</sup>发现在油酸钠体系下,当矿浆 pH 值为 7~12 时,菱镁矿与白云石受到  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  的明显抑制,这是因为金属离子与油酸根离子结合形成沉淀从而对矿物的抑制作用增强。

十二烷基硫酸钠(SDS)具有良好的乳化性、起泡性、可生物降解性、耐碱耐硬水性,并且在较宽 pH 范围内具有稳定性等特点,已有研究将 SDS 作为白云石的捕收剂。Sun 等<sup>[24]</sup>将 SDS 作为白云石的捕收剂进行磷矿反浮选脱钙,可以大大减小浮选过程中磷酸的消耗,SDS 与白云石的作用机理主要为物理吸附。El-Midanysds 等<sup>[25]</sup>将 SDS 与油酸复配进行磷矿反浮选脱钙,可以降低油酸捕收剂用量。Liu<sup>[26]</sup>采用皂化的餐饮废油脂脂肪酸与 SDS 复配进行磷矿反浮选脱钙,SDS 可以降低脂肪酸的表面张力,有利于浮选泡沫的形成和稳定,从而强化了磷矿反浮选脱钙。本文探索性地将

收稿日期: 2023-02-23

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(52004249); 国家重点研发计划项目(2020YFC1908801)

作者简介: 陈英铭(1999-),男,硕士研究生,研究方向为低品质矿产资源综合利用, E-mail: chenyingming1999@163.com。

通信作者: 柴文翠,副教授,硕士生导师,研究方向为浮选界面化学, E-mail: chaiwencui@zzu.edu.cn。

SDS 作为白云石捕收剂进行菱镁矿的反浮选除钙, 重点考察 SDS 捕收剂体系下菱镁矿与白云石的浮选性能, 以及溶出性离子  $Mg^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$  及  $Fe^{3+}$  对两种矿物浮选性能的影响, 为菱镁矿反浮选脱钙提供参考。

## 1 试剂与研究方法

### 1.1 矿样与药剂

实验所用的菱镁矿与白云石单矿物经过人工拣选破碎后, 再通过球磨机进行细磨, 然后依次用 200

目与 400 目筛进行筛分, 将筛分出的 -200+400 目矿物粉末作为试验所用矿样。菱镁矿与白云石单矿物的 XRD 分析结果分别如图 1 所示, 化学元素分析结果见表 1。根据 XRD 和化学元素分析结果可知, 两种矿物纯度均在 95% 左右, 可以用于单矿物试验研究。

试验所用试剂均为分析纯, 主要包括用作捕收剂的十二烷基硫酸钠(SDS), 用以研究  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$  离子影响的  $CaCl_2$ 、 $MgCl_2$ 、 $FeCl_3$ , 以及用作矿浆 pH 调整剂的 HCl 和  $Na_2CO_3$ 。所用试验用水均为去离子水。

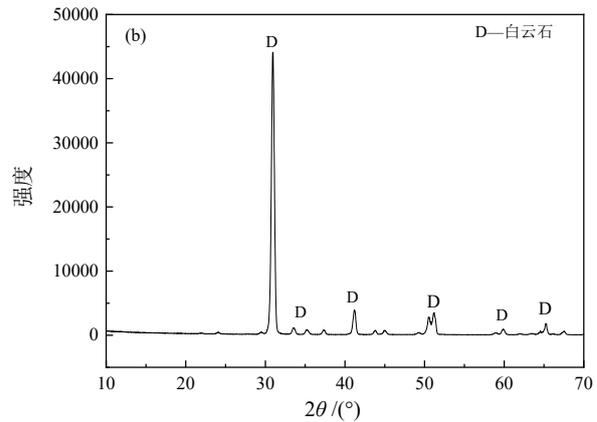
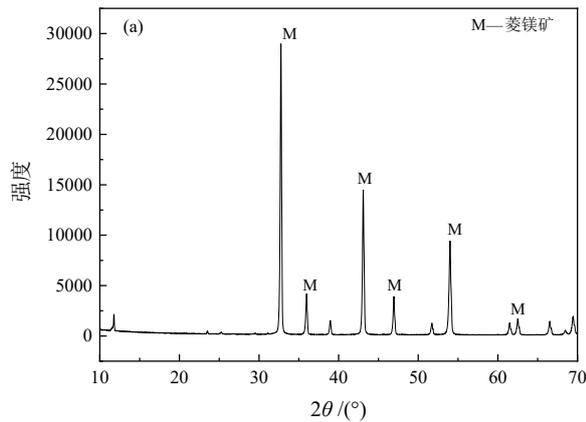


图 1 菱镁矿(a)与白云石(b)的 XRD 图  
Fig. 1 XRD pattern of magnesite (a) and dolomite (b)

表 1 菱镁矿与白云石的主要化学成分分析 /%  
Table 1 Analysis of the main chemical composition of magnesite and dolomite

组分	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
菱镁矿	45.75	1.08	0.19	—
白云石	20.35	32.48	2.08	0.38

### 1.2 试验方法

单矿物浮选试验在 40 mL 的 XFG 型挂槽式浮选机中进行, 向浮选槽中加入 2 g 矿样和 30 mL 去离子水, 调整浮选机转速为 2 000 r/min, 搅拌 2 min 后加入 pH 值调整剂调节矿浆 pH, 搅拌 1 min 后加入金属离子溶液并搅拌 1 min, 最后加入捕收剂溶液搅拌 3 min。打开通气阀, 调整通气量为 50 mL/min, 浮选 4 min 后, 将所得泡沫产品和槽内产品分别进行烘干、称重, 计算单矿物浮选回收率。浮选试验流程图如图 2 所示。

### 1.3 表征方法

采用 Malvern Zetasizer Nano 粒度电位仪分析矿物表面的 Zeta 电位, 称取 0.1 g 矿样置于 150 mL 锥形瓶中, 加入适量去离子水, 超声处理 5 min, 用 0.1 mol/L 的 HCl 或  $Na_2CO_3$  调节矿浆 pH 值, 采用磁力搅拌器搅拌 3 min, 加入捕收剂后再搅拌 30 min, 静置 30 min 后

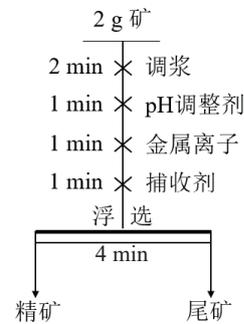


图 2 单矿物浮选试验流程  
Fig. 2 Flowchart of single mineral flotation process

取上层清液进行测定, 每种情形测定 3 次取平均值。

采用 Nicolet NEXUS 670 型傅立叶红外光谱仪 (FTIR) 对捕收剂及金属离子作用前后的矿物颗粒表面官能团进行分析表征。称取样品 1~2 mg 与干燥的 KBr 粉末 (约 100 mg) 在玛瑙研钵中研磨混合均匀后压片进行测试, 设定扫描范围为 400~4 000  $cm^{-1}$ , 扫描次数 64 次。

## 2 结果与讨论

### 2.1 矿浆 pH 值对菱镁矿和白云石浮选性能的影响

在捕收剂 SDS 用量为  $20 \times 10^{-5}$  mol/L 时, 考察矿浆 pH 值对菱镁矿与白云石浮选效果的影响, 结果如

图 3 所示。随着矿浆 pH 的升高, 菱镁矿与白云石的回收率没有明显变化, 白云石回收率在 94% 附近浮动, 菱镁矿回收率在 70% 附近浮动, 两者回收率差约为 24%。由此可以说明, SDS 对白云石的捕收剂性能强于对菱镁矿的捕收剂性能, 且矿浆 pH 值对菱镁矿与白云石的浮选回收率影响较小。

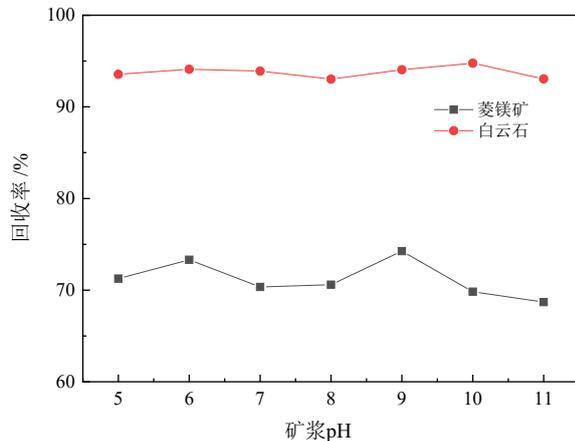


图 3 矿浆 pH 值对白云石和菱镁矿回收率的影响

Fig. 3 Effect of pulp pH on the recovery of dolomite and magnesite

## 2.2 SDS 用量对菱镁矿和白云石浮选性能的影响

在较优矿浆 pH 10 时, 考察 SDS 浓度对菱镁矿与白云石浮选性能的影响, 结果如图 4。随着 SDS 浓度的升高, 白云石回收率先升高而后略有下降, 而菱镁矿的回收率先升高后趋于稳定。当 SDS 用量  $20 \times 10^{-5}$  mol/L 时, 白云石的回收率为 93.18%, 菱镁矿的回收率为 72.32%。此时, 两者的浮选回收率差异较大。

## 2.3 溶出性钙镁离子对菱镁矿与白云石浮选性能的影响

### 2.3.1 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度对矿物浮选性能的影响

在矿浆 pH 值为 10、SDS 用量为  $20 \times 10^{-5}$  mol/L 时, 外加  $\text{Ca}^{2+}$  浓度对菱镁矿与白云石浮选性能的影响如图 5 所示。当  $\text{Ca}^{2+}$  浓度增加时, 菱镁矿与白云石的回收率均比不加  $\text{Ca}^{2+}$  时有所下降, 其中当  $\text{Ca}^{2+}$  加入量为 240 g/t 时, 白云石与菱镁矿的可浮性差异较不加  $\text{Ca}^{2+}$  时有所增加, 以上结果说明, 在 SDS 体系下,  $\text{Ca}^{2+}$  对菱镁矿与白云石均有一定程度的抑制作用, 这是因为  $\text{Ca}^{2+}$  会与十二烷基硫酸盐离子作用, 形成十二胺基硫酸钙, 从而消耗了捕收剂 SDS 的用量。另一方面, 金属离子  $\text{Ca}^{2+}$  与矿浆中的羟基优先结合形成  $\text{Ca}(\text{OH})^+$ , 会吸附在菱镁矿与白云石的表面, 使得捕收剂不能与矿物充分结合, 从而降低了捕收效果<sup>[27]</sup>。当  $\text{Ca}^{2+}$  大量存在时对菱镁矿的抑制作用明显大于对白云石的抑制作用。

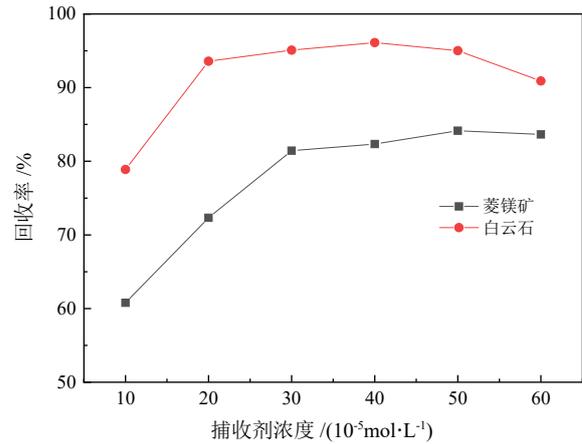


图 4 捕收剂浓度对矿物回收率的影响

Fig. 4 Effect of collector concentration on mineral recovery

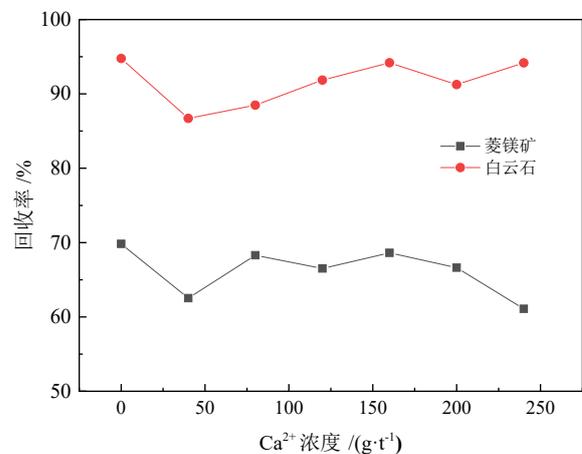


图 5  $\text{Ca}^{2+}$  浓度对矿物回收率的影响

Fig. 5 Effect of  $\text{Ca}^{2+}$  dosage on recovery of minerals

### 2.3.2 $\text{Mg}^{2+}$ 浓度对矿物浮选性能的影响

在矿浆 pH 值为 10、SDS 用量为  $20 \times 10^{-5}$  mol/L 时, 外加  $\text{Mg}^{2+}$  浓度对菱镁矿与白云石浮选性能的影响如图 6 所示。菱镁矿与白云石的回收率均随着  $\text{Mg}^{2+}$  浓度增加而下降, 但是两种矿物的浮选回收率差异变化较小, 说明  $\text{Mg}^{2+}$  对两种矿物均有抑制作用。这是因为在 SDS 体系下,  $\text{Mg}^{2+}$  会与捕收剂 SDS 反应形成十二烷基硫酸镁, 消耗部分 SDS, 从而影响 SDS 对白云石和菱镁矿的浮选性能<sup>[23]</sup>。

## 2.4 $\text{Fe}^{3+}$ 对菱镁矿与白云石浮选性能的影响

### 2.4.1 $\text{Fe}^{3+}$ 用量对矿物浮选性能的影响

在矿浆 pH 值为 10、SDS 用量为  $20 \times 10^{-5}$  mol/L 时, 外加  $\text{Fe}^{3+}$  浓度对菱镁矿与白云石浮选性能的影响如图 7 所示。随着加入  $\text{Fe}^{3+}$  浓度的增加, 白云石的浮选回收率缓慢降低, 但总的变化幅度不大。而菱镁矿回收率随着  $\text{Fe}^{3+}$  浓度的增加先是大幅度下降, 之后又有所上升, 最后趋于稳定。两种矿物均受到了不同程度的抑制, 当  $\text{Fe}^{3+}$  用量为 20 g/t 时, 白云石回收率为

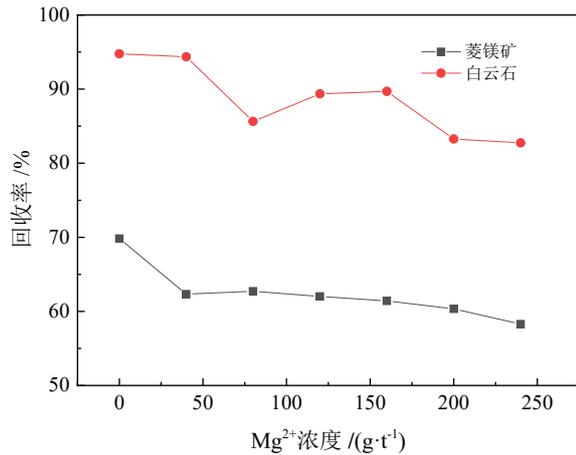


图 6 Mg<sup>2+</sup>浓度对矿物回收率的影响  
Fig. 6 Effect of Mg<sup>2+</sup> dosage on recovery of minerals

92.25%，比不加 Fe<sup>3+</sup>时下降了 3.05 百分点，而此时菱镁矿的回收率下降了 20.00 百分点，两种矿物的回收率差达到了 42.42 百分点。这可能是由于 Fe<sup>3+</sup>吸附在矿物表面，改变矿物表面电性使矿物表现出亲水性，从而对矿物浮选产生抑制作用<sup>[28-29]</sup>。当 Fe<sup>3+</sup>用量大于 80 g/t，白云石与菱镁矿的回收率趋于稳定，两种矿物的回收率差约为 36%。以上结果说明，Fe<sup>3+</sup>的加入对两种矿物均起到抑制作用，但对菱镁矿的抑制效果强于对白云石的抑制效果，明显提高了白云石与菱镁矿的浮选性差异，有利于白云石与菱镁矿的浮选分离。

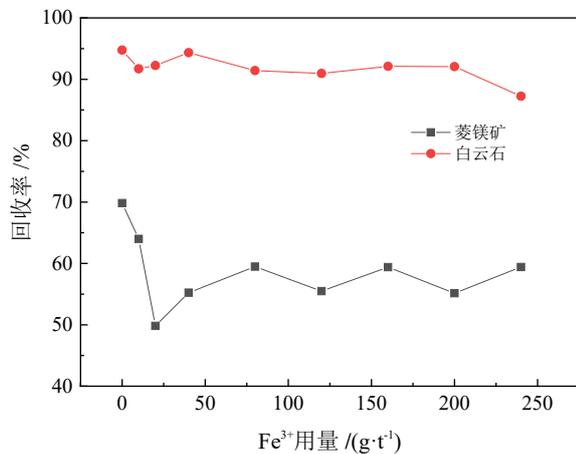


图 7 Fe<sup>3+</sup>用量对矿物回收率的影响  
Fig. 7 Effect of Fe<sup>3+</sup> dosage on recovery of minerals

### 2.4.2 Fe<sup>3+</sup>存在下矿浆 pH 值对矿物浮选性能的影响

为了进一步研究 Fe<sup>3+</sup>的抑制性能，在 SDS 用量为 20×10<sup>-5</sup> mol/L、Fe<sup>3+</sup>用量为 25 g/t 时，考察矿浆 pH 值对菱镁矿及白云石浮选回收率的影响，结果如图 8。随着矿浆 pH 的升高，Fe<sup>3+</sup>对白云石的抑制效果逐渐减弱，而对菱镁矿的抑制效果增强，两者回收率差值增大，在矿浆 pH 值为 10 时两者回收率差值达到最大，此条

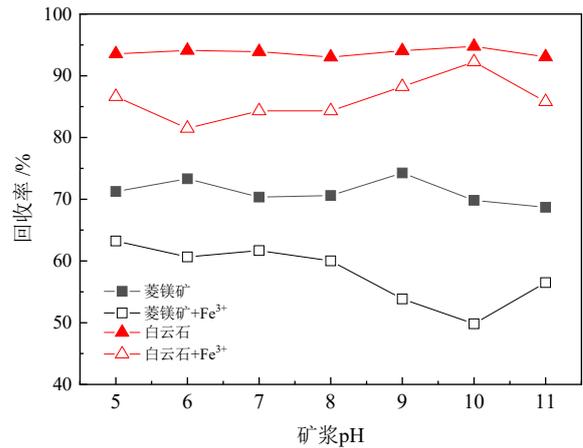


图 8 不同 pH 值下 Fe<sup>3+</sup>对菱镁矿与白云石浮选效果的影响  
Fig. 8 Effect of Fe<sup>3+</sup> on flotation effect of magnesite and dolomite at different pH values

件下浮选分离菱镁矿和白云石较为有利。

## 2.5 SDS 浮选分离白云石与菱镁矿机理分析

### 2.5.1 SDS 与矿物作用的 FTIR 分析

为了考察捕收剂 SDS 与矿物之间的作用关系，对 SDS 作用前后的菱镁矿与白云石样品进行红外光谱分析，结果如图 9 所示。在 SDS 的红外谱图中，2916.9 cm<sup>-1</sup> 和 2852.4 cm<sup>-1</sup> 处的峰分别为烷基链中 C-H 的不对称和对称伸缩振动峰，1468.7 cm<sup>-1</sup> 处为 C-H 的弯曲振动峰。1248.9 cm<sup>-1</sup>、1216.6 cm<sup>-1</sup>、987.9 cm<sup>-1</sup>、826.7 cm<sup>-1</sup> 处为 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的特征峰，其中 1078.8 cm<sup>-1</sup> 为 C-O-S 的不对称伸缩振动峰<sup>[30]</sup>。

菱镁矿与白云石在 878.5 cm<sup>-1</sup> 和 748.5 cm<sup>-1</sup> 的特征峰，可能是由 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 的弯曲振动和不对称拉伸振动引起的<sup>[31]</sup>。与 SDS 作用后，菱镁矿与白云石在 2983.1 cm<sup>-1</sup>、2903.3 cm<sup>-1</sup> 以及 1070 cm<sup>-1</sup> 处出现了新峰，分别对应于 SDS 烷基链中的 C-H 不对称和对称伸缩振动峰以及 C-O-S 的不对称伸缩振动峰，但是没有观察到 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的其他特征峰，这表明 SDS 在菱镁矿与白云石表面均有吸附，而且是通过 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 与两种矿表面的位点进行作用。

### 2.5.2 SDS 及 Fe<sup>3+</sup>对矿物表面 Zeta 电位的影响

白云石和菱镁矿与 Fe<sup>3+</sup>及 SDS 作用前后表面 Zeta 电位的变化如图 10 所示。与 SDS 作用后，白云石和菱镁矿的 Zeta 电位均向负电位方向移动，说明两种矿物表面均有 SDS 吸附。当 pH>10 时，白云石的 Zeta 电位向负电位方向移动的幅度远远大于菱镁矿，这说明此时 SDS 在白云石表面的吸附量远大于在菱镁矿表面的吸附量。这与单矿物浮选结果一致，由此可知，SDS 对白云石与菱镁矿的浮选差异主要由 SDS 在两种矿物表面的差异性吸附引起的。在所研究的 pH=6~11 范围内，白云石表面带负电，而 SDS 带负电，

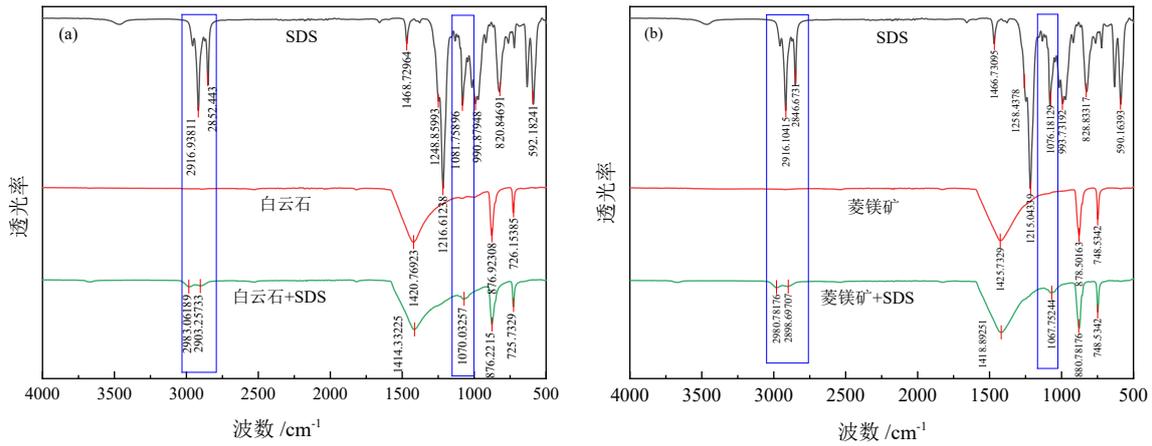


图 9 SDS 作用前后白云石(a)与菱镁矿(b)的 FTIR 光谱  
Fig. 9 FTIR spectras of dolomite (a) and magnesite (b) before and after treated by SDS

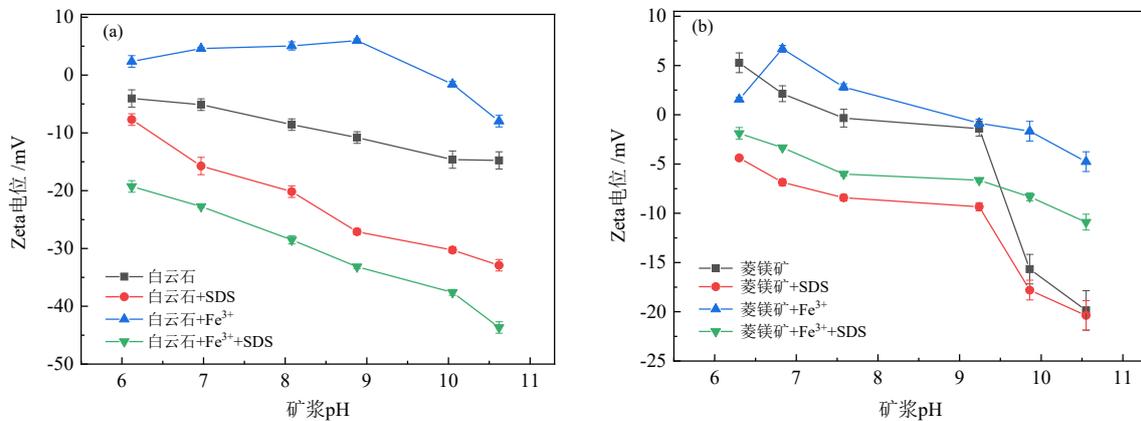


图 10 SDS 与 Fe<sup>3+</sup>对白云石(a)及菱镁矿(b)Zeta 电位的影响  
Fig. 10 Effects of SDS and Fe<sup>3+</sup> on Zeta potentials of dolomite (a) and magnesite (b)

说明 SDS 在白云石表面的吸附主要为化学吸附。菱镁矿的等电点约为 pH=7.5, 当 pH>7.5 时, 菱镁矿表面带负电, 此时 SDS 在其表面的吸附为化学吸附; 当 pH<7.5 时, 菱镁矿表面带正电, 此时 SDS 在菱镁矿表面的吸附除了化学吸附外, 还有静电吸引作用。

与 Fe<sup>3+</sup>作用后, 白云石与菱镁矿的 Zeta 电位在碱性环境中均向正电位方向移动, 说明 Fe<sup>3+</sup>可以吸附在两种矿物表面。在 pH>10 时, Fe<sup>3+</sup>作用后, 菱镁矿表面的 Zeta 电位偏移量大于白云石, 表明此时 Fe<sup>3+</sup>在菱镁矿表面的吸附量大于在白云石表面的吸附量<sup>[32]</sup>。Fe<sup>3+</sup>与 SDS 依次与矿物作用后, 白云石与菱镁矿表面的 Zeta 电位均向负方向移动。相比于仅与 SDS 作用的矿物, 白云石矿物表面的 Zeta 电位向负方向移动, 而菱镁矿表面的 Zeta 电位向正方向移动, 说明 Fe<sup>3+</sup>促进了 SDS 在白云石表面的吸附, 抑制了 SDS 在菱镁矿表面的吸附, 从而增加了白云石与菱镁矿之间的可浮性差异。

### 3 结论

(1)在较宽的 pH 值范围内, 捕收剂 SDS 对白云石均具有良好的捕收能力, 浮选回收率达 93.18%, 而

对菱镁矿的捕收效果较差。当 SDS 用量为  $20 \times 10^{-5}$  mol/L、矿浆 pH 为 10 时, 白云石与菱镁矿的浮选差异最大。

(2)矿浆中的溶出性离子 Ca<sup>2+</sup>和 Mg<sup>2+</sup>对白云石与菱镁矿均有一定程度的抑制作用, 这是因为 Ca<sup>2+</sup>和 Mg<sup>2+</sup>会与捕收剂 SDS 反应生成相应的十二烷基硫酸盐, 消耗了部分 SDS 进而影响了捕收剂的浮选性能, 但对白云石与菱镁矿的可浮性差异影响较小, 不利于白云石与菱镁矿的浮选分离。Fe<sup>3+</sup>对白云石的抑制效果较差, 对菱镁矿的抑制效果较好, 从而增加了两种矿物可浮性差异, 有利于实现两种矿物的浮选分离。因此, 可以在反浮选脱钙过程中添加 Fe<sup>3+</sup>来强化白云石与菱镁矿的浮选分离效果。

(3)通过 FTIR 和 Zeta 电位分析发现, 在碱性条件下, 捕收剂 SDS 在白云石和菱镁矿表面的吸附主要为化学吸附。SDS 在白云石表面的吸附量远远大于在菱镁矿表面的吸附量, 且 Fe<sup>3+</sup>可以促进 SDS 在白云石表面的吸附, 抑制 SDS 在菱镁矿表面的吸附, 从而增大白云石与菱镁矿间的可浮性差异。

### 参考文献:

[1] 钟文兴, 印万忠, 姚金, 等. 聚丙烯酸在细粒菱镁矿反浮选中的选

- 择性抑制作用[J]. 金属矿山, 2021(2): 96-102.
- ZHONG W X, YIN W Z, YAO J, et al. Selective depressing effect of polyacrylic acid in fine magnesite reverse flotation[J]. *Metal Mine*, 2021(2): 96-102.
- [2] 朱阳戈, 杨林峰, 胡晓星, 等. 以羧甲基纤维素为抑制剂浮选分离石英和菱镁矿[J]. *中国有色金属学报(英文版)*, 2022, 32(5): 1623-1637.
- ZHU Y G, YANG L F, HU X X, et al. Flotation separation of quartz from magnesite using carboxymethyl cellulose as depressant[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2022, 32(5): 1623-1637.
- [3] ZHAO P X, LIU W B, LIU W G, et al. Efficient separation of magnesite and quartz using eco-friendly dimethylaminopropyl lauramide experimental and mechanistic studies[J]. *Minerals Engineering*, 2022, 188: 107814.
- [4] 孙文瀚, 刘文刚, 杨婷, 等. TX-100对油酸钠体系下菱镁矿与白云石浮选分离的影响[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2021, 42(2): 226-231.
- SUN W H, LIU W G, YANG T, et al. Effect of TX-100 on flotation separation of magnesite and dolomite in sodium oleate system[J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science Edition)*, 2021, 42(2): 226-231.
- [5] 张兴业. 提高我国菱镁矿资源利用率的途径[J]. *矿产保护与利用*, 2008(4): 23-25.
- ZHANG X Y. Ways to improve the utilization rate of magnesite resources in our country[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2008(4): 23-25.
- [6] 杨俊峰, 余跃, 王曦. 我国菱镁矿业绿色高质量发展对策研究[J]. *中国矿山工程*, 2022, 51(4): 25-28.
- YANG J F, YU Y, WANG X. Research on green and high quality development countermeasures of magnesite mining in China[J]. *China Mine Engineering*, 2022, 51(4): 25-28.
- [7] 朱一民, 马玉宁, 杨雪莹, 等. 新型捕收剂DXY对石英的浮选及泡沫性能研究[J]. *金属矿山*, 2022(10): 95-100.
- ZHU Y M, MA Y N, YANG X Y, et al. Study on flotation and foam performance of quartz with new collector DXY[J]. *Metal Mine*, 2022(10): 95-100.
- [8] 董庆国, 白阳, 吴清峰, 等. 辽宁某低品位菱镁矿浮选除杂试验研究[J]. *非金属矿*, 2018, 41(3): 100-102.
- DONG Q G, BAI Y, WU Q F, et al. Experimental study on impurity removal by flotation of a low grade magnesite in Liaoning[J]. *Non-metallic Mines*, 2018, 41(3): 100-102.
- [9] 胡晓星, 朱阳戈, 吕建业, 等. 六偏磷酸钠对菱镁矿与白云石浮选分离动力学的影响[J]. *有色金属工程*, 2020, 10(9): 72-78+97.
- HU X X, ZHU Y G, LV J Y, et al. Effect of sodium hemphosphate on flotation separation kinetics of magnesite and dolomite[J]. *Nonferrous Metals Engineering*, 2020, 10(9): 72-78+97.
- [10] 胡晓星, 朱阳戈, 郑桂兵, 等. BK434在某低品位菱镁矿正浮选除钙中的应用[J]. *矿业研究与开发*, 2016, 36(9): 24-26.
- HU X X, ZHU Y G, ZHENG G B, et al. Application of BK434 in calcium reduction by direct flotation of a low-grade magnesite[J]. *Mining Research and Development*, 2016, 36(9): 24-26.
- [11] 李彩霞, 刘高全, 白阳, 等. 油酸钠体系中菱镁矿-白云石浮选试验研究[J]. *非金属矿*, 2018, 41(4): 77-79.
- LI C X, LIU G Q, BAI Y, et al. Experimental study on flotation of magnesite and dolomite in sodium oleate system[J]. *Non-metallic Mines*, 2018, 41(4): 77-79.
- [12] 李彩霞, 刘高全, 白阳, 等. 抑制剂对菱镁矿与白云石分离影响研究[J]. *非金属矿*, 2019, 42(1): 70-72.
- LI C X, LIU G Q, BAI Y, et al. Study on the effect of inhibitors on the separation of magnesite and dolomite[J]. *Non-metallic Mines*, 2019, 42(1): 70-72.
- [13] 罗娜, 魏德洲, 李明明, 等. 白云石对菱镁矿浮选行为的影响[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2017, 38(7): 1007-1011.
- LUO N, WEI D Z, LI M Y, et al. Influence of dolomite on flotation behavior of magnesite[J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2017, 38(7): 1007-1011.
- [14] 谭欣, 苏建芳, 朱阳戈, 等. 辽宁某低品位菱镁矿提质降杂试验研究与工业实践[J]. *矿产保护与利用*, 2018(1): 54-60.
- TAN X, SU J F, ZHU Y G, et al. Experimental study and industrial practice on quality improvement and impurity reduction of a low-grade magnesite in Liaoning[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2018(1): 54-60.
- [15] QIN W Q, HU J J, ZHU H L, et al. Effect of depressants on flotation separation of magnesite from dolomite and calcite[J]. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2023, 33(1): 83-91.
- [16] SUN W, LIU W G, DAI S, et al. Effect of Tween 80 on flotation separation of magnesite and dolomite using NaOL as the collector [J]. *Journal of Molecular Liquids*, 2020, 315(prepublish).
- [17] YIN W Z, TANG Y. Interactive effect of minerals on complex ore flotation: A brief review[J]. *International journal of minerals metallurgy materials*, 2020, 27(5): 571-583.
- [18] 刘文刚, 姚广铮, 卢位, 等. 十二胺体系中金属离子对菱镁矿和白云石浮选行为的影响[J]. *矿产保护与利用*, 2018(3): 67-70+76.
- LIU W G, YAO G Z, LU W, et al. Effect of metal ions on flotation behavior of magnesite and dolomite in dodecylamine system[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2018(3): 67-70+76.
- [19] 袁世泉, 张洪恩. 菱镁矿、白云石表面电性研究[J]. *矿冶工程*, 1990(4): 19-23+36.
- YUAN S Q, ZHANG H E. Study on surface electrical properties of magnesite and dolomite[J]. *Mining and Metallurgy Engineering*, 1990(4): 19-23+36.
- [20] 李强, 孙明俊, 印万忠, 等. 菱镁矿浮选特性研究[J]. *金属矿山*, 2010(11): 91-94+188.
- LI Q, SUN M J, YIN W Z, et al. Research on flotation characteristics of magnesite[J]. *Metal Mine*, 2010(11): 91-94+188.
- [21] 刘秉锋, 郭小飞, 代淑娟, 等. 金属离子对菱镁矿浮选体系的影响研究进展[J]. *金属矿山*, 2020(12): 136-142.
- LIU B F, GUO X F, DAI S J, et al. Research progress of influence of metal ions on flotation system of magnesite[J]. *Metal Mine*, 2020(12): 136-142.
- [22] 张作金, 代淑娟, 韩佳宏, 等. 菱镁矿浮选体系中金属离子对脉石矿物可浮性影响研究进展[J]. *矿产保护与利用*, 2019, 39(2): 118-123.
- ZHANG Z J, DAI S J, HAN J H, et al. Research progress on effect of metal ions on gangue minerals floatability in magnesite flotation system[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2019, 39(2): 118-123.
- [23] 张孟, 代淑娟, 马芳源, 等. 钙、镁离子对菱镁矿与白云石浮选行为的影响[J]. *非金属矿*, 2015, 38(5): 50-53.
- ZHANG M, DAI S J, MA F Y, et al. Effect of calcium and magnesium ions on flotation behavior of magnesite and dolomite[J]. *Non-metallic Ores*, 2015, 38(5): 50-53.
- [24] SUN K, LIU T, ZHANG Y M, et al. Application and mechanism of anionic collector sodium dodecyl sulfate (SDS) in phosphate beneficiation [J]. *Minerals*, 2017, 7(2).

- [25] EL-MIDANY A A, ARAFAT Y. Enhancing phosphate grade using oleic acid-sodium dodecyl sulfate mixtures[J]. *Chemical Engineering Communications*, 2016, 203(5): 660–665.
- [26] LIU L, TIAN M, DENG X, et al. The removal of dolomite from colophane using reverse flotation process enhanced by compound collector[J]. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 2023, 59(1).
- [27] 孙浩然, 印万忠, 唐远, 等. 菱镁矿及其主要伴生矿物白云石的浮选动力学研究[J]. *矿产保护与利用*, 2019, 39(1): 10–16.  
SUN H R, YIN W Z, TANG Y, et al. Study on flotation kinetics of magnesite and its main associated mineral dolomite[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2019, 39(1): 10–16.
- [28] 王雪, 黎艳, 王晓军, 等.  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 对白云石、高岭土、石英浮选行为的影响研究[C]//2017年中国非金属矿科技与市场交流大会, 2017: 174-180.  
WANG X, LI Y, WANG X J, et al. Study on the influence of  $\text{Fe}^{3+}$  and  $\text{Fe}^{2+}$  on the flotation behavior of dolomite, kaolin and quartz[C]//2017 China Non-metallic Ore Technology and Market Exchange Conference, 2017: 174-180.
- [29] 班小淇, 顾畔, 印万忠, 等. 菱镁矿浮选体系中 $\text{Fe}^{3+}$ 对白云石的选择性活化及机理分析[J]. *矿产综合利用*, 2022(5): 125–129.  
BAN X Q, GU P, YIN W Z, et al. Selective activation of dolomite by  $\text{Fe}^{3+}$  in magnesite flotation system and its mechanism analysis[J]. *Comprehensive Utilization of Mineral Resources*, 2022(5): 125–129.
- [30] GAO X D, CHOROVER J. Adsorption of sodium dodecyl sulfate (SDS) at ZnSe and  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  surfaces: combining infrared spectroscopy and batch uptake studies [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2010, 348(1).
- [31] SUN W H, LIU W G, LIU W B, et al. Utilization of a novel bisphosphonic acid surfactant for reverse froth flotation of magnesite and dolomite[J]. *Minerals Engineering*, 2022, 185.
- [32] 宋振国. 几种金属阳离子对方解石与菱镁矿浮选的影响[J]. *矿产保护与利用*, 2014(6): 15–18.  
SONG Z G. Effect of several metal cations on flotation of calcite and magnesite[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2014(6): 15–18.

## Flotation Performance of Alkyl Sulfate Collector for Magnesite and Dolomite

CHEN Yingming<sup>1,2</sup>, MA Pengju<sup>1,2</sup>, CHAI Wencui<sup>1,2</sup>, MA Weiming<sup>1,3</sup>

1. Henan Laboratory of Critical Metals, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, Henan;

2. School of Materials Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, Henan;

3. School of Chemical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, Henan

**Abstract:** Dolomite is the main calcium-containing impurity of low quality magnesite ore. However, the similar crystal structure and composition resulted in the difficult flotation separation of dolomite and magnesite. Developing novel and efficient collectors is the main means to improve the separation efficiency of magnesite and dolomite. Based on this, sodium dodecyl sulfate (SDS) was used as the collector of dolomite. The effects of slurry pH value, collector concentration and soluble ions of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  on the flotation performance of magnesite and dolomite were investigated. The results showed that a better flotation separation result was obtained when the SDS concentration was  $20 \times 10^{-5}$  mol/L and pulp was 10. The ions of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  could simultaneously inhibit the flotation of magnesite and dolomite, which had little effect on the flotation difference of the two minerals. The inhibitory of  $\text{Fe}^{3+}$  on dolomite was weaker than that of magnesite, which was conducive to the flotation separation. The FTIR and Zeta potential results indicated that the adsorption capacity of SDS on the dolomite surface was much greater than that on the magnesite surface, and  $\text{Fe}^{3+}$  could promote the SDS adsorption on the dolomite surface and inhibit the SDS adsorption on the magnesite surface, thus increasing the flotation difference between dolomite and magnesite.

**Keywords:** sodium dodecyl sulfate; magnesite; dolomite; metal ions; inhibition

引用格式: 陈英铭, 马鹏举, 柴文翠, 马伟鸣. 烷基硫酸盐捕收剂对菱镁矿和白云石的浮选性能研究[J]. *矿产保护与利用*, 2023, 43(2): 53–59.  
CHEN Yingming, MA Pengju, CHAI Wencui, MA Weiming. Flotation performance of alkyl sulfate collector for magnesite and dolomite[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2023, 43(2): 53–59.

投稿网址: <http://hcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)